Ontario
Ministry of
Agriculture and Food
central site | feedback | search | site map | français
HOME | WHAT'S NEW | CALENDAR | PRODUCTS | NEWS RELEASES

FACTSHEET
ISSN 1198-712X ©Queen's Printer for Ontario
Agdex#: 290/27 Publication Date: 12/02
Order#: 00-077 Last Reviewed: 05/03

Title: Carbon Dioxide In Greenhouses

Division: Agriculture and Rural

History: replaces OMAF Factsheet *Carbon Dioxide in Greenhouses*, Order No. 94-055

Written by: T.J Blom; W.A. Straver; F.J. Ingratta; Shalin Khosla - OMAF; Wayne Brown - OMAF

Table of Contents

1. Introduction
2. Sources Of Carbon Dioxide
3. Supplementation Levels For Carbon Dioxide
3a. Natural air exchange
3b. Photosynthesis
4. Burner Capacity Required
5. When To Supplement With Carbon Dioxide
6. The Costs Of Adding Carbon Dioxide
7. Distribution Of Carbon Dioxide In The Greenhouse
8. Plant Damage As A Result Of Co_2 Supplementation
9. Cultural Practices To Improve Productivity
10. Notes

Introduction

The benefits of carbon dioxide supplementation on plant growth and production within the greenhouse environment have been well understood for many years.

Carbon dioxide (CO_2) is an essential component of photosynthesis (also called carbon assimilation). Photosynthesis is a chemical process that uses light energy to convert CO_2 and water into sugars in green plants. These sugars are then used for growth within the plant, through respiration. The difference between the rate of photosynthesis and the rate of respiration is the basis for dry-matter accumulation (growth) in the plant. In greenhouse production the aim of all growers is to increase dry-matter content and economically optimize crop yield. CO_2 increases productivity through improved plant growth and vigour. Some ways in which productivity is increased by CO_2 include earlier flowering, higher fruit yields, reduced bud abortion in roses, improved stem strength and flower size. Growers should regard CO_2 as a nutrient.

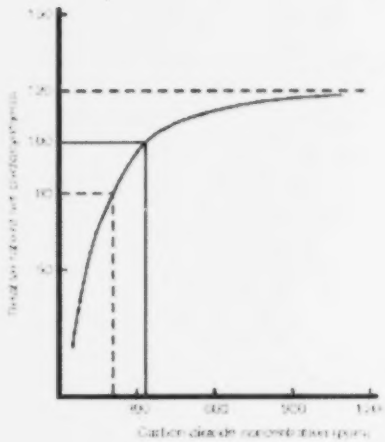
For the majority of greenhouse crops, net photosynthesis increases as CO_2 levels increase from 340–1,000 ppm (parts per million). Most crops show that for any given level of photosynthetically active radiation (PAR), increasing the CO_2 level to 1,000 ppm will increase the photosynthesis by about 50% over ambient CO_2 levels. For some crops the economics may not warrant supplementing to 1,000 ppm CO_2 at low light levels. For others such as tulips, and Easter lilies, no response has been observed.

Carbon dioxide enters into the plant through the stomatal openings by the process of diffusion. Stomata are specialized cells located mainly on the underside of the leaves in the epidermal layer. The cells open

and close allowing gas exchange to occur. The concentration of CO_2 outside the leaf strongly influences the rate of CO_2 uptake by the plant. The higher the CO_2 concentration outside the leaf, the greater the uptake of CO_2 by the plant. Light levels, leaf and ambient air temperatures, relative humidity, water stress and the CO_2 and oxygen (O_2) concentration in the air and the leaf, are many of the key factors that determine the opening and closing of the stomata.

Ambient CO_2 level in outside air is about 340 ppm by volume. All plants grow well at this level but as CO_2 levels are raised by 1,000 ppm photosynthesis increases proportionately resulting in more sugars and carbohydrates available for plant growth. Any actively growing crop in a tightly clad greenhouse with little or no ventilation can readily reduce the CO_2 level during the day to as low as 200 ppm. The decrease in photosynthesis when CO_2 level drops from 340 ppm to 200 ppm is similar to the increase when the CO_2 levels are raised from 340 to about 1,300 ppm (Figure 1). As a rule of thumb, a drop in carbon dioxide levels below ambient has a stronger effect than supplementation above ambient.

Figure 1. The effect of carbon dioxide on net photosynthesis.



During particular times of the year in new greenhouses, and especially in double-glazed structures that have reduced air exchange rates, the carbon dioxide levels can easily drop below 340 ppm which has a significant negative effect on the crop. Ventilation during the day can raise the CO_2 levels closer to ambient but never back to ambient levels of 340 ppm. Supplementation of CO_2 is seen as the only method to overcome this deficiency and increasing the level above 340 ppm is beneficial for most crops. The level to which the CO_2 concentration should be raised depends on the crop, light intensity, temperature, ventilation, stage of the crop growth and the economics of the crop. For most crops the saturation point will be reached at about 1,000–1,300 ppm under ideal circumstances. A lower level (800–1,000 ppm) is recommended for raising seedlings (tomatoes, cucumbers and peppers) as well as for lettuce production. Even lower levels (500–800 ppm) are recommended for African violets and some Gerbera varieties. Increased CO_2 levels will shorten the growing period (5%–10%), improve crop quality and yield, as well as, increase leaf size and leaf thickness. The increase in yield of tomato, cucumber and pepper crops is a result of increased numbers and faster flowering per plant.

| Top of Page |

Sources Of Carbon Dioxide

Carbon dioxide can be obtained by burning carbon-based fuels such as natural gas, propane, and kerosene, or directly from tanks of pure CO_2. Each source has potential advantages and disadvantages. When natural gas, propane or kerosene is burned, not only CO_2 is produced, but also heat is generated that can supplement the normal heating system. However, incomplete combustion or contaminated fuels may cause plant damage. Most sources of natural gas and propane have sufficiently low levels of

impurities, but notify your supplier of your intention to use the fuel for CO_2 supplementation. Sulphur levels in the fuel should not exceed 0.02% by weight. Combustion of fuels also generates moisture. For natural gas it is estimated that about 1.4 kg of water vapour is generated for each m^3 of gas burned. For propane the amount of moisture generated per kg of CO_2 is slightly less than it is for natural gas.

Natural gas, propane and liquid fuels are burned in specialized CO_2 generators located throughout the greenhouse. (Plate 1). The size of the unit (BTU's produced) and the degree of horizontal airflow in the greenhouse determine the number and the location of these units. The most important feature of a burner should be that it burns the fuel completely. Some manufacturers make burners in which either natural gas or propane can be used, as well as units with adjustable outputs. A potential disadvantage of this system is that the heat generated by these units may have a localized effect on temperature and disease incidence (i.e. powdery mildew and Botrytis), particularly in tall growing crops.

Alternatively, a portion of the flue gas from natural gas boilers connected to hot water heating systems can be directed into the greenhouse as a means of supplementing CO_2 to the crop. The boiler must be equipped with a flue gas condenser specifically designed for this purpose. (Plate 2)

Plate 1. Carbon dioxide generator.

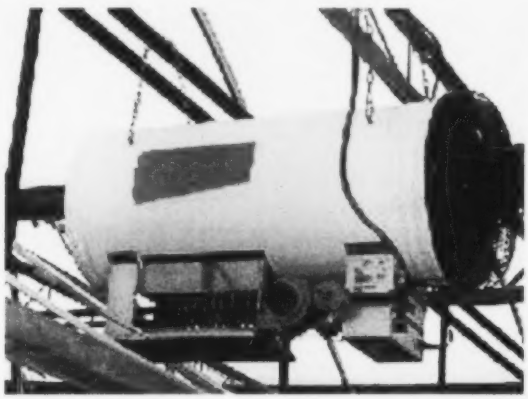
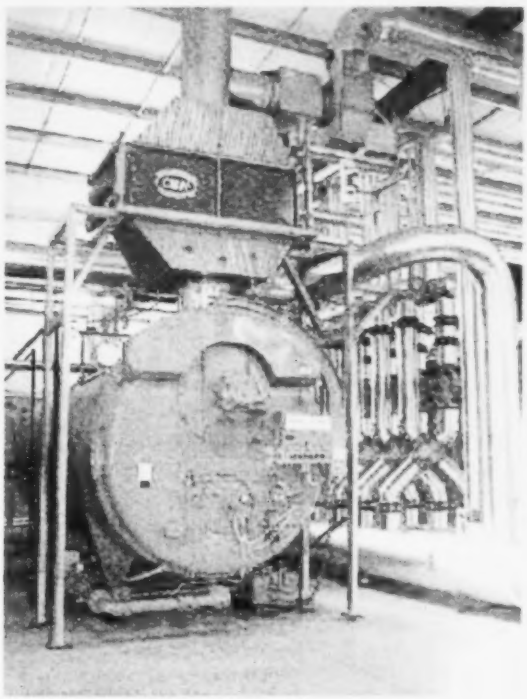


Plate 2. Hot water boiler with flue gas condenser.

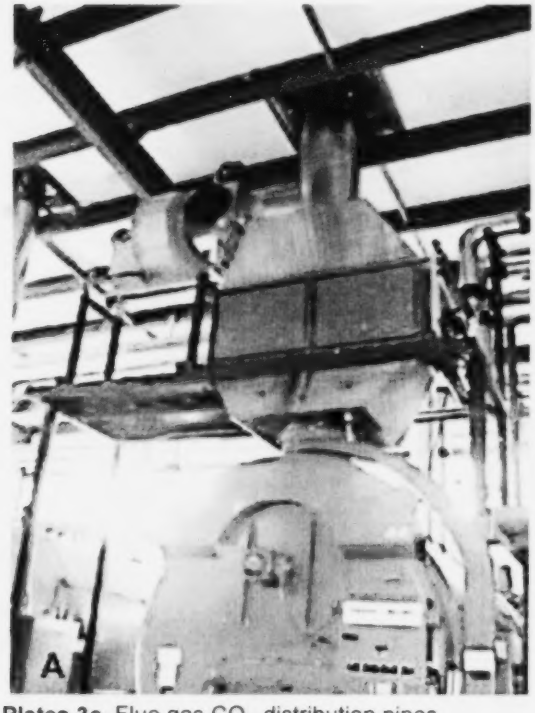


Note: not all boilers, particularly older boilers, are designed for this task. Natural gas boilers must burn cleanly, generating low or no nitrogen oxides (NOx) or ethylene. Contact your boiler manufacturer before proceeding. All equipment must be CSA approved or equivalent.

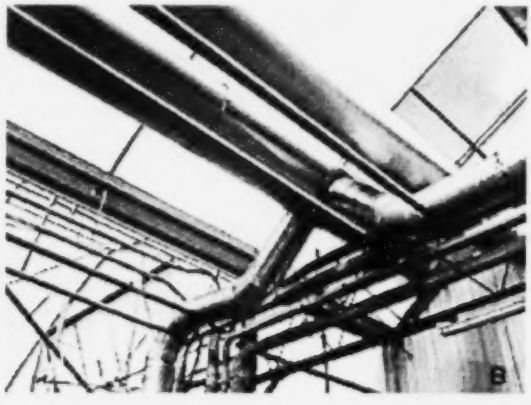
This allows for safe flue gas introduction into the greenhouse. The flue gases are extracted where the boiler connects to the stack. These units are designed to reduce the temperature and moisture impact on the greenhouse environment, and have monitoring systems that safe guard against flue gas introduction when the carbon monoxide (CO) level is higher than a set level (usually 6–10 ppm). The system is designed with a small capacity ventilator with low suction resulting in a fixed volume of the flue gases. A second ventilator is used to mix the flue gases with the greenhouse air and then the mixture is introduced throughout the greenhouse. This system provides the flexibility to introduce the CO_2 low within the crop and allowing it to rise through the crop before exiting the vents. The delivery system must be designed to

ensure even distribution throughout the greenhouse (Plates 3 & 4). In order to increase efficiency and to provide CO_2 during the day when there is no requirement for heat, a hot water heating system equipped with an insulated hot water storage tank is used. The size of the tank may vary from 30–130 m^3/ha of greenhouse. The heat generated by the boiler during the day is stored in the tank and is used at night as required (Plate 5). Summer CO_2 supplementation using flue gas can be achieved as long as the stored heat is used during the night. In some cases during the summer months the stored heat is not required as the outside night temperature remains higher than 22°C. In this situation CO_2 application is limited.

Plate 3a. CO_2 condenser and blower.

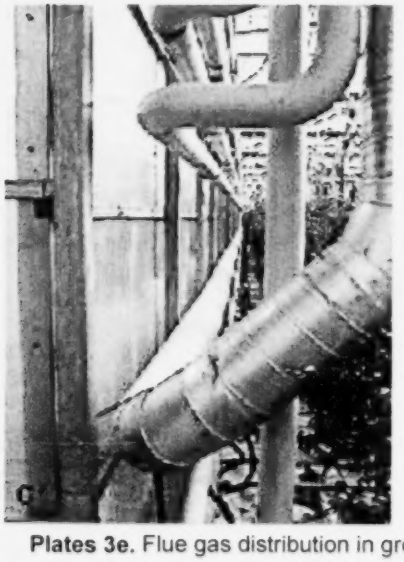


Plates 3b. Flue gas CO_2 distribution pipes.



Plates 3c. Flue gas CO_2 distribution pipes.

Plates 3d. Flue gas distribution in greenhouse.



Plates 3e. Flue gas distribution in greenhouse.

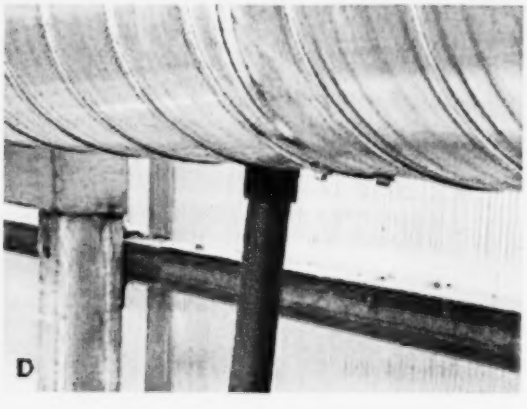


Plate 4. Flue gas CO_2 distribution in greenhouse

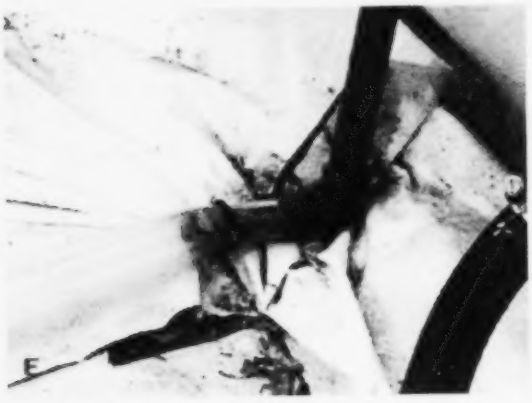
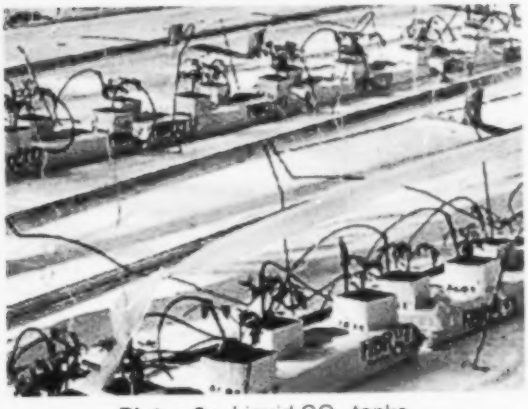


Plate 5. Hot water tank to store heat when supplementing with flue gas CO_2.

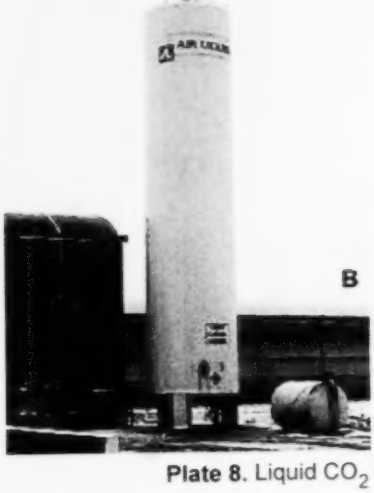
through clear polyethylene tubes.



Plates 6a. Liquid CO_2 tanks.

Plates 6b. Liquid CO_2 tanks.

Plate 7. Liquid CO_2 vaporizer.



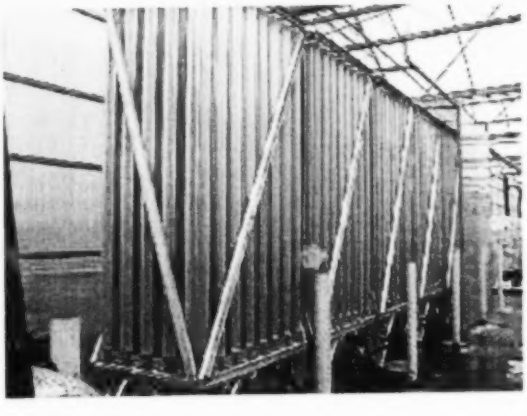
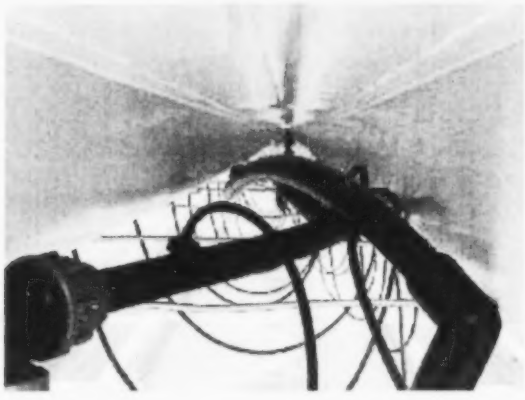


Plate 8. Liquid CO_2 distribution pipes located below raised trough system.



Liquid carbon dioxide has become popular for many growers even though it is usually more expensive. The main advantages of using liquid CO_2 include purity of product, no concerns about crop damage, nor heat or moisture production, better control of CO_2 levels and the flexibility to introduce the CO_2 within the plant canopy at any time. Pure CO_2 is delivered in bulk by truck to the greenhouse. Special storage tanks rented from the supplier are required at every site (Plate 6). The compressed CO_2 is in a liquid state and must be vaporised through vaporiser units (Plate 7). The distribution system for liquid CO_2 in the greenhouse is simpler to design and install. Most growers use 18 mm black flexible polyvinyl chloride (PVC) tubing with holes punched at an appropriate spacing (Plate 8). For a small operation the CO_2 may be supplied in cylinders.

When growers still growing in soil incorporate or surface apply animal manure or other organic materials, such as straw, levels of CO_2 in the greenhouse will be increased during the breakdown process. The amount of CO_2 produced depends on the stability of the mulch and the activity of the microorganisms, which convert the organic material into CO_2. Production of CO_2 from rotting manure will only be significant for about one month following incorporation. In some cases organic growing media such as coconut coir will increase the CO_2 level in the greenhouse to 1,200 ppm during the night. This is usually not a problem, as the levels will drop quite rapidly at daylight.

| Top of Page |

Supplementation Levels For Carbon Dioxide

Today, most growers monitor and control the greenhouse environment with sensors linked to a central computer to allow integration of the different environmental factors. A carbon dioxide controller, usually an infrared gas analyser (IRGA) is used to monitor and maintain the minimum and maximum CO_2 level in the greenhouse. Usually a single IRGA is used per operation. Multiple readings within individual compartments or from different zones can be obtained by using a scanner or a multiplexer. The IRGA unit can be stand-alone or, as in most cases, connected to the environment control computer. In the latter case the environment control computer is used to control the CO_2 level, through integration with light levels, stage of ventilation, and wind speed. Infra red gas analysers require routine calibration to insure accurate measurement of the CO_2 levels.

Rates of carbon dioxide supplementation are dependent on the crop response and economics. Flower and vegetable growers may take somewhat different approaches. In general, carbon dioxide supplementation of 1,000 ppm during the day when vents are closed is recommended. At 10% vent opening the CO_2 supplementation can be shut off or reduced to 400–600 ppm. In order to improve economic efficiency, CO_2 levels can be set depending on light levels. The following is a recommended strategy for vegetable growers. On sunny days when the vents are closed, supplement with 1,000 ppm CO_2 while on cloudy days when the light level is below 40 watts/m^2 supplement with only 400 ppm CO_2.

However most flower growers will supplement with 1,000 ppm regardless of light levels. The environment computer can be set to adjust the CO_2 level depending on the light measured but once the vents open beyond 10% or the second stage of exhaust fans becomes operational, the focus is to maintain a CO_2 level in the crop canopy at 400 ppm.

To provide a guideline for CO_2 addition, a theoretical calculation is given below for a glass house of 100 m^2, with a growing crop, on a day with average light intensity. In this calculation, a level of 1,000 ppm CO_2 will be supplemented to maintain 1,300 ppm during the day. Normally CO_2 supplementation is not required at night as no photosynthesis occurs. Actually, the CO_2 concentration will tend to build up naturally as a result of plant respiration. Therefore, it is not uncommon to find elevated levels (500–600 ppm) early in the morning. Growers using high-pressure sodium lighting during the night should maintain at least 400 ppm of CO_2.

A typical greenhouse with a 2.4 m gutter has an approximate air volume of 400 m^3/100 m^2 floor area. To increase the level from 300–1,300 ppm requires the addition of 1,000 ppm or 0.1% CO_2. This requires 0.40 m^3 or 0.75 kg of CO_2 per 100 m^2 of greenhouse floor space. Add this amount before sunrise because photosynthetic activity is usually the greatest early in the day. After a level of 1,300 ppm is achieved, it must be maintained.

Carbon dioxide levels are reduced in a greenhouse by natural air exchange and photosynthesis.

(a) Natural air exchange

Leaks in the greenhouse allow a continuous infiltration of outside air, which contains only 340 ppm CO_2. An average value for infiltration in a glass house would be one air change per hour. To compensate for this dilution, approximately 0.37 kg CO_2/100 m^2 must be added to maintain the desired level of 1,300 ppm CO_2.

Note that a correction should be made for gutter height and/or width of greenhouse. A wide span greenhouse has more air volume than a narrow span given the same gutter height. For houses with double glazing (double polyethylene or acrylic) an air exchange of ¼–$^1/_3$ of 1 greenhouse air volume is expected. For greenhouses with forced ventilation, a lower CO_2 level is usually maintained if fans are in operation, and as a result the rate of supplementation will be different.

| Top of Page |

(b) Photosynthesis

Plants during photosynthesis use carbon dioxide. Rate of consumption varies with crop, light intensity, temperature, stage of crop development and nutrient level. An average consumption level is estimated to be between 0.12–0.24 kg/hr/100 m^2. The higher rate reflects the typical usage for sunny days and a fully-grown crop.

When the 2 factors are combined, it is estimated that about 0.50–0.60 kg of CO_2/hr/100 m^2 must be added in a 'standard' glass greenhouse to maintain 1,300 ppm. For double-polyethylene houses supplementation is 0.25–0.35 kg of CO_2/hr/100 m^2. For glass houses, supplementation is primarily used to offset the dilution due to air infiltration, while for double-poly houses the amount of CO_2 required is about equal for the natural air exchange and photosynthesis. Make adjustments in supplementation if lower levels are to be maintained.

Table 1, Potential Yearly CO_2 Use on a Monthly Basis, shows the theoretical amount of CO_2 used for a vegetable crop being supplemented at 3 different rates based on sunshine hours.

Table 1. Potential Yearly CO_2 Use on a Monthly Basis (based on sunshine hours at Harrow, Ontario)

Month	Number Hours Applied	Rate Applied (kg/ha/hr)		
		45	65	90
Jan	82	3690	5330	7380
Feb	100	4500	6500	9000
Mar	127	5715	8255	11430
Apr	168	7560	10920	15120
May	234	10530	15210	21060
Jun	253	11385	16445	22770
Jul	283	12735	18395	25470
Aug	252	11340	16380	22680
Sep	187	8415	12155	16830
Oct	157	7065	10205	14130
Nov	89	4005	5785	8010
Dec	67.1	3019.5	4361.5	6039
Total (kg)		89959.5	129941.5	179919

| Top of Page |

Burner Capacity Required

For calculating the capacity of the burners, only natural gas and propane are considered as these fuels are most commonly used in the industry. Growers who do not have a CO_2 gas analyser or environmental computer need to properly size their burners. This is especially true of bedding plant growers with freestanding hoop houses. Table 2, Capacity of burner to maintain 1,300 ppm of CO_2 under assumed conditions, lists the burner capacity based on the compensation rates stated above.

At the recommended levels (Table 2) it can be calculated that the relative humidity will increase by about 3%–6% when using natural gas provided the greenhouse temperature is not affected from the heat generated by the CO_2 burners. Typically, when the temperature is raised by 1°C there is no effect on the relative humidity.

| Top of Page |

When To Supplement With Carbon Dioxide

Since photosynthesis normally occurs only during daylight hours, CO_2 addition is not required at night. However, supplementation is recommended during cloudy, dull days to compensate for the lower rate of photosynthesis. Because photosynthesis increases with high light levels, the optimal CO_2 concentration becomes higher. Start supplementation approximately 1 hr before sunrise and shut the system off 1 hr before sunset. However, CO_2 supplementation is highly recommended when supplemental high-pressure sodium (HPS) lighting is used at night to insure adequate levels.

Although the optimal CO_2 level increases with increasing light levels, it is often wasteful, depending on wind speed, to attempt to maintain a rate of 1,000 ppm supplementation when vents are more than 10%–15% open or the full complement of exhaust fans are operational. Growers should however, aim to maintain ambient levels within the crop canopy. The increased air circulation enhances the rate of

diffusion by reducing the boundary layer around the leaf surface.

| Top of Page

The Costs Of Adding Carbon Dioxide

The cost of generation and distribution as well as the cost of the fuel are the key factors that must be considered. Table 3, Cost comparison of various sources of CO_2 (kg/ha), indicates the cost of supplying CO_2 from the various sources for a 12-hour day. Most large operations, especially those using flue gas CO_2 may use double the amount indicated per day. Equipment cost must also be added to the equation (Table 4, Equipment Costs for 4 Hectare (10 acre) Operation).

Table 2. Capacity of burner[1] to maintain 1,300 ppm of CO_2 under assumed conditions.

	Natural Gas		Propane	
	kW/1,000 m^2	m^3/1,000 m^2/hr	kW/1,000 m^2	L/1,000 m^2/hr
Glass house	30–36	2.8–3.4	20–24	2.8–3.4
Plastic house	15–18	1.4–1.7	10–12	1.4–1.7

[1] kW kilowatt = 3420 BTU/hr
The foregoing calculations are based on continuous operation of the burner.

Table 3. Cost comparison of various sources of CO_2 (Kg/Ha)*

	# hrs	CO_2 rate kg/ha/hr	Amount of Product Req	$Cost/unit	CO_2 Cost/hr	Total cost/day
Liquid CO_2	12	50	50.0 kg	0.11 kg	$5.50	$66.00
	12	50	50.0 kg	0.15 kg	$7.50	$90.00
	12	50	50.0 kg	0.2 kg	$10.00	$120.00
Natural Gas	12	50	27.8 m^3	0.1 m^3	$2.78	$33.33
	12	50	27.8 m^3	0.15 m^3	$4.17	$50.00
	12	50	27.8 m^3	0.3 m^3	$8.33	$100.00
Propane	12	50	27.8 L	0.2 L	$5.56	$66.67
	12	50	27.8 L	0.25 L	$6.94	$83.33
	12	50	27.8 L	0.3 L	$8.33	$100.00

* Does not include equipment costs

Table 4 : Equipment Costs for 4 Hectare (10 acre) Operation

Liquid CO_2			
Tank Rental			$6,000
CO_2 Distribution			
1,000 ft	90	50	$4,500
		Total	$10,500*
Flue Gas CO_2			
Condenser			$30,000
Blower			$20,000
Distribution			$15,000
plastic tube 65 mm			
1,000 ft	150	100	$15,000
		Total	$80,000
Burner CO_2			
Units Required			
20		2,500	$50,000
		Total	$50,000

*this is an annual cost

| Top of Page |

Distribution Of Carbon Dioxide In The Greenhouse

It is important to have an adequate distribution system. The distribution of CO_2 depends mainly on air movement within the greenhouse(s), as CO_2 does not travel very far through diffusion. For instance, when a single source of CO_2 is used for a large surface area or several connecting greenhouses, a distribution system must be installed. This system must be designed to evenly distribute the CO_2 in the greenhouse especially when flue gas CO_2 or liquid CO_2 is used. Air circulation using horizontal airflow fans or fan-jet system provides uniform distribution by moving large volumes of air within the greenhouse when top vents are closed or exhaust fans are not operational. Today, growers supplementing with liquid CO_2 or flue gas CO_2 have a central header with small individual tubes (with evenly spaced holes) placed low in the crop canopy or in the case of bench crops, under the bench. The potential for low CO_2 levels inside a dense crop canopy (chrysanthemums) makes it beneficial to supplement within the canopy. Air movement around the plants will also improve the CO_2 uptake because the boundary layer around the individual leaf is lessened bringing the CO_2 molecules closer to the leaf.

| Top of Page

Plant Damage As A Result Of Co_2 Supplementation

Do not allow excessive CO_2 levels in greenhouses. Levels of 5,000 ppm can cause dizziness or lack of co-ordination to humans. Higher than recommended levels can cause necrosis of old tomato and cucumber leaves. African violet leaves become very hard and brittle, show a very dark greenish-grey colour and often malformed flower petals, which do not fully expand. A similar symptom with freesia flowers has been observed where the CO_2 burner was used to provide the majority of the heat requirements of the greenhouse, and thereby generating excessive amounts of CO_2. Except in

emergencies, do not use CO_2 burners as the prime heating system.

Since sulphur dioxide can cause acute necrosis (0.2 ppm in the air), the sulphur content of the fuels should be less than 0.02%. Heating fuels such as No. 2 oil and bunker C (# 6 Oil) are not suitable for CO_2 supplementation.

Ethylene at 0.05 ppm and propylene at higher levels can cause premature senescence on tomato and cucumber plants, induce sleepiness in carnations, create flower shatter of geraniums, promote excessive side shoot development, prevent normal flower initiation, and flower bud abortion in chrysanthemums and poinsettia. Ethylene is often produced as a result of incomplete combustion, while propylene is usually associated with the use of propane. Leaky propane supply lines have created serious financial damage to growers in the past. Carbon monoxide (CO), which usually does not create any problems by itself, is often used as the indicator for incomplete combustion. Levels exceeding 50 ppm CO in the flue gases are an indication of the presence of ethylene at levels capable of causing crop damage.

Burners with a high flame temperature can cause the formation of nitrous oxides (NOx and NO_2). Excessive amounts of nitrous oxide can cause diminished growth or even necrosis. Boilers equipped with low NOx burners must be used for flue gas utilisation as a CO_2 source.

A low level of both SO_2 and NOx in combination can cause greater phytotoxicity damage or be more detrimental to the plants than a high level of either. Excessive and prolonged use of CO_2 (especially in tomatoes) results in the plants not responding well to the supplemental CO_2. Interruption of the CO_2 application for a few days results in an improved response.

| Top of Page |

Cultural Practices To Improve Productivity

Depending on the crop, the increased growth rate related to CO_2 application may require the nutrient solution to be applied at a higher electrical conductivity (EC). As well, the increased CO_2 levels can result in partial closure of the stomata reducing transpiration and increasing leaf conductance in some crops. This decrease in transpiration reduces calcium (Ca) and boron (B) uptake, which may affect tomato fruit quality. Increased applications of these nutrients, within reason, will adequately compensate the decreased uptake.

| Top of Page

Notes:

- 1 kg of CO_2 is equivalent to 570 L of CO_2
- 1 m^3 of natural gas provides about (1.8 Kg) 1,000 L of CO_2 when combusted and 1.4 L of water
- 1 m^3 of natural gas = 0.75 L of kerosene = 1.0 L of propane for an equivalent amount of CO_2 produced

| Top of Page

|

For more information:
Toll Free: 1-877-424-1300
Local: (519) 826-4047
Email: ag info@omaf.gov.on.ca

| Crops Home Page |

| Central Site | Feedback | Search | Site Map | Français|
| Home | What's New | Calendar | Products | News Releases |

Ontario

This site is maintained by the Government of Ontario, Canada.

This information is provided as a public service, but we cannot guarantee that the information is current or accurate.
Readers should verify the information before acting on it.

Feedback and technical inquiries to: crops@omaf.gov.on.ca
© Copyright 2003 Queen's Printer for Ontario
Last Updated: July 31, 2003

FICHE TECHNIQUE

HORTICULTURE

COMMANDE N° 00-078

DÉCEMBRE 2002

AGDEX 290/27

Ontario Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation

LE GAZ CARBONIQUE DANS LES SERRES

S. Khosla et W. Brown

(En remplacement de la fiche technique du MAAO portant le même titre, commande n° 94-056)

Les avantages que procurent l'enrichissement des serres en gaz carbonique sont reconnus depuis bon nombre d'années.

Le gaz carbonique (CO_2) est indispensable au phénomène de la photosynthèse (également appelé assimilation chlorophyllienne), grâce auquel les plantes vertes utilisent l'énergie lumineuse pour transformer le CO_2 en eau et en sucre. Ces sucres servent ensuite à divers mécanismes de croissance contrôlés par le processus de la respiration. La différence entre la photosynthèse et la respiration détermine l'importance de l'accumulation de matière sèche (croissance) dans la plante. L'objectif de tous les serriculteurs est d'accroître la teneur en matière sèche des plantes et d'obtenir un rendement maximum au moindre coût. Le CO_2 accroît la productivité en améliorant la croissance et la vigueur des plants. L'apport de CO_2 peut améliorer la productivité en favorisant notamment la floraison hâtive, en augmentant le rendement en fruits, en réduisant la chute prématurée du bouton chez les roses ou en améliorant la vigueur de la tige et la taille de la fleur. Les serriculteurs devraient considérer le CO_2 comme un élément nutritif.

Pour la majorité des cultures en serre, le rendement photosynthétique s'accroît lorsque la concentration de CO_2 passe de 340 à 1 000 ppm (parties par million). Dans la plupart des cas, pour un niveau donné de rayonnement photosynthétiquement actif (RPA), une concentration de CO_2 de 1 000 ppm fera augmenter la photosynthèse de 50 % comparativement à la concentration de l'air ambiant. Toutefois, il n'est pas nécessairement rentable, pour certaines cultures, d'enrichir l'atmosphère jusqu'à 1 000 ppm de CO_2 lorsque l'intensité lumineuse est faible. Dans d'autres cas, comme les tulipes et les lys de Pâques, les plantes ne réagissent pas à l'enrichissement de gaz carbonique.

Le gaz carbonique pénètre dans la plante par les stomates grâce au processus de diffusion. Les stomates sont des cellules spécialisées qui sont situées principalement dans la couche épidermique de la face intérieure des feuilles. Les cellules s'ouvrent et se ferment, ce qui permet la circulation des gaz. La concentration en CO_2 autour de la feuille est étroitement liée au taux d'absorption de CO_2 par la plante. Par conséquent, plus la concentration de CO_2 est élevée à l'extérieur de la feuille, plus la plante absorbe de CO_2. L'intensité lumineuse, la température de la feuille et de l'air ambiant, l'humidité relative, le manque d'eau ainsi que les concentrations de l'air et de la feuille en CO_2 et en oxygène (O_2) sont autant de facteurs déterminants qui influencent l'ouverture et la fermeture des stomates.

L'air ambiant contient normalement quelque 340 ppm de CO_2 en volume. Toutes les plantes se développent bien à cette concentration, mais lorsque les niveaux de CO_2 atteignent 1 000 ppm, la photosynthèse augmente proportionnellement ce qui produit davantage de sucres et d'hydrates de carbone pour la plante. Toute culture en pleine croissance dans une serre étanche où il y a peu ou pas de ventilation peut, durant la journée, faire baisser jusqu'à 200 ppm la concentration de CO_2 dans la serre. La baisse de photosynthèse observée quand la concentration de CO_2 chute de 340 à 200 ppm est du même ordre que l'accroissement photosynthétique causé par un enrichissement de 340 à 1 300 ppm (*figure 1*). En règle générale, une chute de la concentration en gaz carbonique sous les niveaux de l'air ambiant a un effet plus marqué qu'un enrichissement de l'air de la serre.

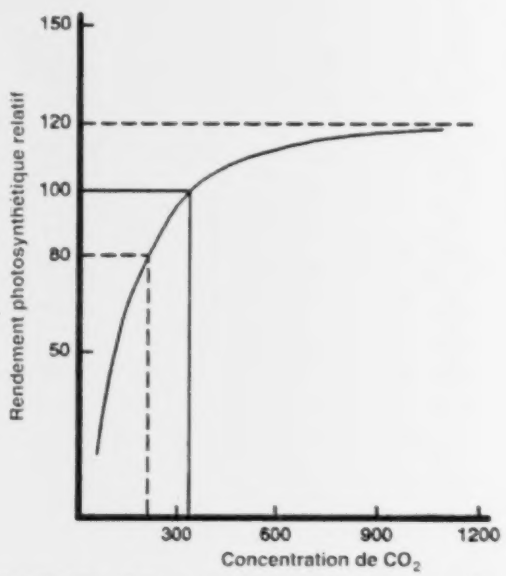


FIGURE 1. Effet du gaz carbonique sur le rendement photosynthétique.

Dans les nouvelles serres, en particulier dans les serres à double paroi où les taux d'échanges gazeux sont réduits, les concentrations de CO_2 peuvent facilement tomber en dessous de 340 ppm à certains moments de l'année, ce qui a un effet négatif majeur sur la croissance. La ventilation, au cours de la journée, relève quelque peu le niveau de CO_2, mais ne peut jamais le remonter au seuil de 340 ppm. L'enrichissement en CO_2 apparaît donc comme le seul moyen de corriger cette carence et aussi d'accroître les concentrations au-dessus du seuil de 340 ppm, accroissement favorable pour la plupart des cultures. Le niveau jusqu'où on peut aller dépend du type de plante, de l'intensité lumineuse, de la température, de la ventilation, du stade de croissance de la plante et des facteurs de rentabilité de la culture. Dans la plupart des cas, le point de saturation se situe aux alentours de 1 000 à 1 300 ppm en conditions idéales. Des concentrations inférieures (800 à 1 000 ppm) sont conseillées pour la production des plants de repiquage (comme la tomate, le concombre et le poivron) ainsi que pour la production de laitue. On préconise des niveaux encore plus bas, soit 500 à 800 ppm, pour la violette africaine et pour certaines variétés de gerbéra. L'augmentation des concentrations de CO_2 aura pour effet de raccourcir de 5 à 10 % la période de croissance, d'améliorer la qualité et le rendement de la culture en plus d'augmenter la taille et l'épaisseur des feuilles. L'augmentation du rendement dans les cultures de tomates, de concombres et de poivrons est due à l'accroissement du nombre de fleurs par plant ainsi qu'à une floraison plus hâtive.

SOURCES DE GAZ CARBONIQUE

Le CO_2 peut être obtenu par la combustion de carburants tels que le gaz naturel, le propane, le kérosène ou encore directement à partir de réservoirs contenant du CO_2 à l'état pur. Chaque source a ses avantages et ses inconvénients. Quand on brûle du gaz naturel, du propane ou du kérosène, on produit certes du CO_2 mais également de la chaleur qui peut servir d'appoint au système de chauffage normal. En revanche, la combustion incomplète ou l'utilisation de carburant contaminé peut causer des dommages aux végétaux. La plupart des sources de gaz naturel et de propane ne contiennent que peu d'impuretés, mais le serriste devrait aviser son fournisseur de son intention d'utiliser le carburant pour l'enrichissement de la serre en CO_2. Les teneurs en soufre du combustible ne doivent pas dépasser 0,02 % en poids. La combustion produit aussi de l'eau. Dans le cas du gaz naturel, on estime que pour chaque mètre cube (m^3) de gaz brûlé, on produit environ 1,4 kg de vapeur d'eau. Avec le propane, la quantité d'humidité produite par kilogramme de CO_2 est légèrement inférieure à celle qui est produite par le gaz naturel.

Le gaz naturel, le propane et les carburants liquides sont brûlés dans des génératrices spéciales, placées dans la serre, qui produisent du CO_2 (*planche 1*). Le nombre d'appareils requis et leur emplacement dépend de leur taille (soit le nombre de BTU générés par appareil) et de l'ampleur de la circulation horizontale d'air dans la serre. La caractéristique la plus importante d'un brûleur est sa capacité à brûler complètement le carburant. Quelques fabricants construisent des brûleurs pouvant fonctionner aussi bien au gaz naturel qu'au propane. On trouve aussi des appareils à débit réglable. Ces derniers ont toutefois le désavantage de générer de la chaleur qui peut affecter localement la température et causer l'émergence de maladies (comme l'oïdium et le champignon *Botrytis*) particulièrement chez les plantes de grande taille.

Par ailleurs, une partie des gaz de combustion provenant des brûleurs à gaz naturel reliés à des systèmes de chauffage à eau chaude peuvent être dirigés dans la serre pour enrichir cette dernière en CO_2. Le brûleur doit être pourvu d'un condenseur conçu spécialement pour les gaz de combustion. (*planche 2*).

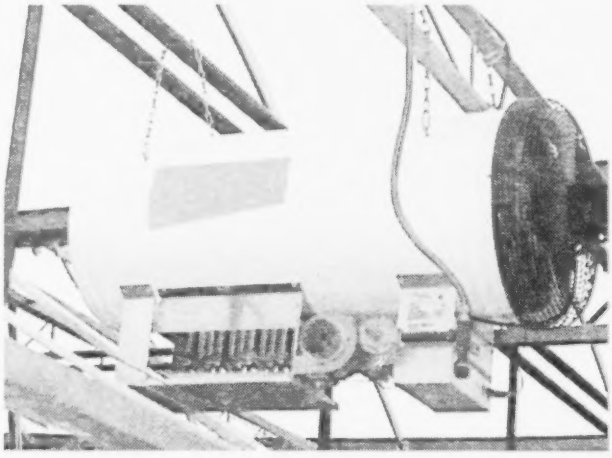


PLANCHE 1. Brûleur de gaz carbonique.

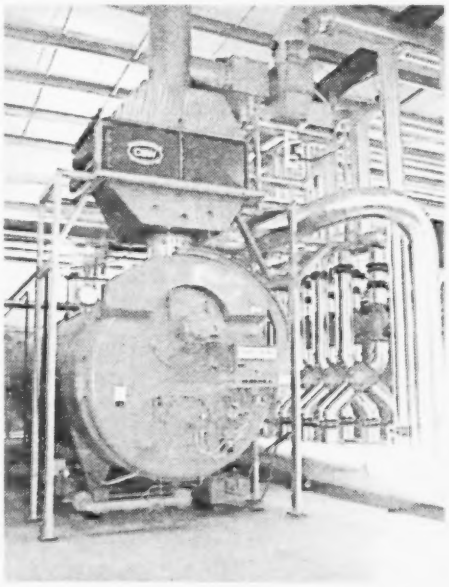


PLANCHE 2. Chaudière à eau chaude pourvue d'un condenseur de gaz de combustion.

Note: Ce ne sont pas tous les brûleurs, surtout parmi les plus anciens, qui peuvent être utilisés à cette fin. La combustion du carburant par les chaudières à gaz naturel doit être le plus complète possible et ne produire que peu ou pas d'oxydes d'azote (NOx) ou d'éthylène. Communiquez d'abord avec le fabricant de chaudières. Tous les appareils doivent être homologués CSA ou l'équivalent.

Cette particularité permet aux gaz de combustion de pénétrer dans la serre sans danger. Ces derniers sont dégagés à l'endroit où la chaudière est reliée à la cheminée. Ces appareils sont conçus pour réduire l'effet de la température et de l'humidité dans l'atmosphère de la serre. Ils sont dotés de systèmes de contrôle qui permettent de prévenir l'introduction de gaz de combustion dans la serre lorsque la teneur en monoxyde de carbone (CO) est supérieure au niveau établi (généralement 6 à 10 ppm). Le système est doté d'un ventilateur de faible capacité à succion légère, ce qui génère un volume prédéterminé de gaz de combustion. Un deuxième ventilateur est utilisé pour mélanger les gaz de combustion avec l'air de la serre; le mélange obtenu circule ensuite dans la serre. Avec ce système, le CO_2 est d'abord introduit dans la partie inférieure des plantes avant de se répandre vers le haut du couvert végétal et d'être évacué par les sorties d'air. Le système de distribution des gaz doit être conçu pour assurer la répartition uniforme dans toute la serre (*planches 3* et *4*). Afin d'augmenter l'efficacité et l'approvisionnement de la serre en CO_2 pendant la journée lorsque la chaleur n'est pas requise, on utilise un système de chauffage à eau chaude doté d'un réservoir à eau chaude isolé. Les dimensions du réservoir peuvent varier de 30 à 130 m^3 par hectare de serre. La chaleur produite par la chaudière est conservée dans le réservoir pour être utilisée la nuit au besoin (*planche 5*). Il est possible d'enrichir l'atmosphère de la serre en CO_2 pendant l'été à l'aide de gaz de combustion à la condition que la chaleur entreposée soit utilisée durant la nuit. Il peut arriver, en saison estivale, qu'il ne soit pas nécessaire d'utiliser la chaleur entreposée lorsque la température extérieure demeure supérieure à 22 °C. Dans ce cas, on peut limiter l'application de CO_2.

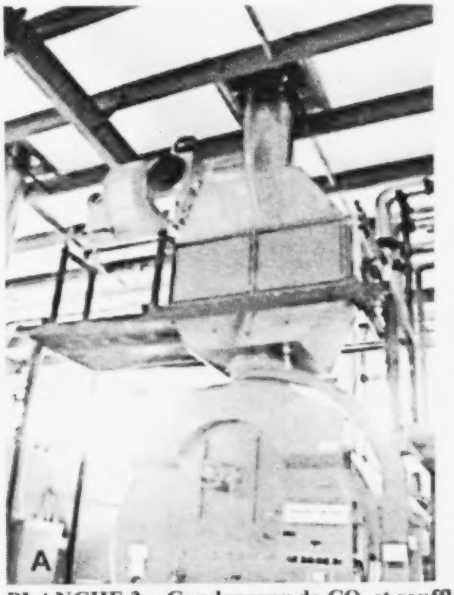


PLANCHE 3a. Condenseur de CO_2 et soufflerie.

PLANCHE 3b. Conduites de distribution pour le CO_2 provenant des gaz de combustion.

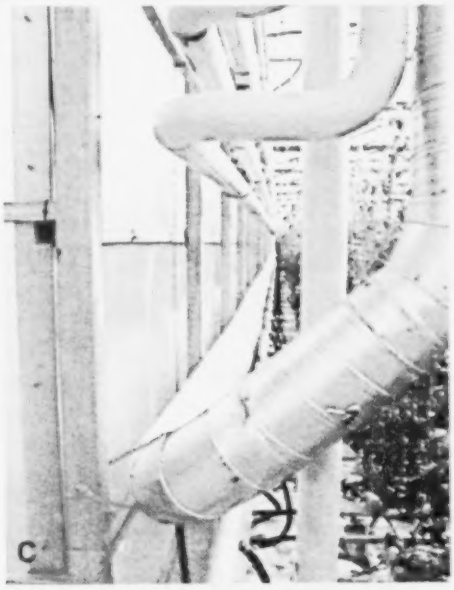
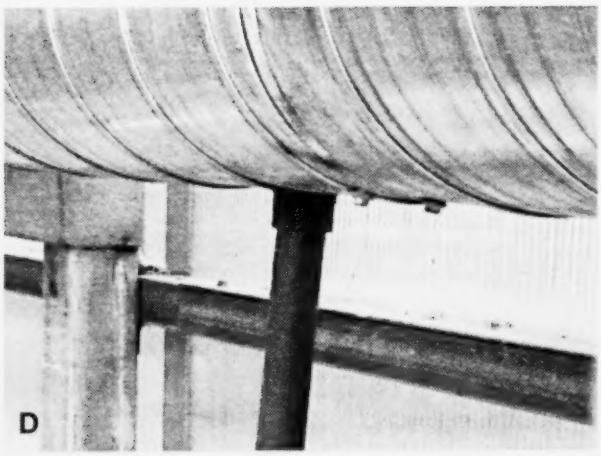
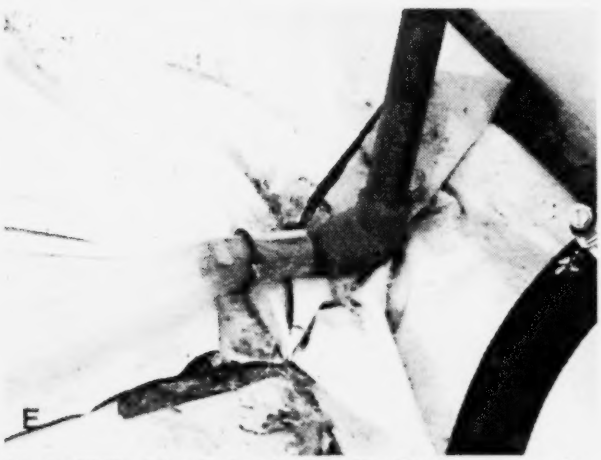


PLANCHE 3c. Conduites de distribution pour le CO_2 provenant des gaz de combustion.





PLANCHES 3d et 3e. Système de distribution des gaz de combustion dans la serre.

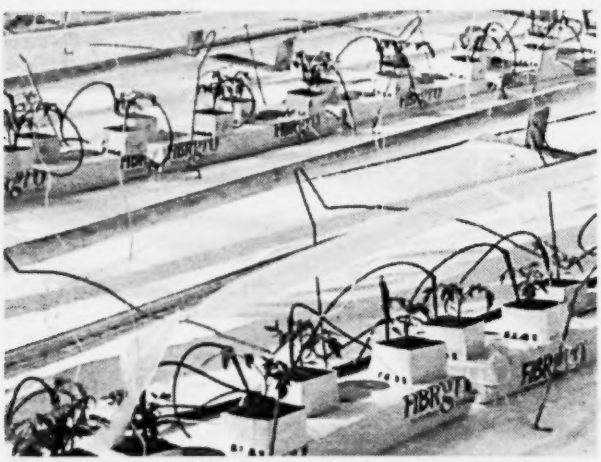
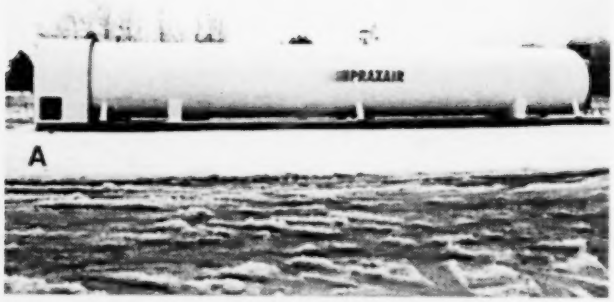


PLANCHE 4. Distribution des gaz de combustion dans des tuyaux de polyéthylène transparents.

PLANCHE 5. Réservoir à eau chaude pour conserver la chaleur – Enrichissement avec du CO_2 provenant de gaz de combustion.

De plus en plus de producteurs utilisent le gaz carbonique liquide malgré son prix généralement plus élevé. Cette forme de CO_2 a l'avantage de ne pas contenir d'impuretés, de sorte qu'on ne risque pas d'endommager les cultures en raison d'une combustion incomplète. Le gaz carbonique liquide ne produit ni chaleur ni humidité, permet aussi un meilleur réglage des niveaux de CO_2 de même que la possibilité d'introduire en tout temps du gaz carbonique à l'intérieur du couvert végétal. Le CO_2 pur est livré en vrac à la serre par camion. Chaque site doit être doté d'un réservoir spécial qu'on peut louer auprès du fournisseur (*planche 6*). Le CO_2 comprimé est à l'état liquide et doit être vaporisé à travers un dispositif spécial (*planche 7*). Dans une serre, le système de distribution du gaz carbonique liquide est moins complexe et plus simple à installer. La plupart des serristes utilisent des tubes flexibles en polychlorure de vinyle (PVC) noir, perforés à un intervalle approprié (*planche 8*). Pour les exploitations de petite taille, le CO_2 peut être vendu en cylindres.

Par ailleurs, lorsque les serristes qui utilisent le sol même pour la culture incorporent du fumier ou d'autres matières organiques, comme la paille, ou l'appliquent à la surface, les concentrations de CO_2 dans la serre augmentent au cours du processus de décomposition. La quantité de CO_2 produite de cette façon dépend de la stabilité du substrat et de l'activité des micro-organismes qui transforment la matière organique en CO_2. La quantité de CO_2 dégagée du fumier en décomposition n'est importante que pendant environ un mois après l'incorporation. Certains substrats de culture organiques, comme la fibre de coco, font hausser la concentration de gaz carbonique dans la serre jusqu'à 1 200 ppm pendant la nuit. Cette situation n'est pas problématique, puisque les concentrations diminuent assez rapidement à la lumière du jour.



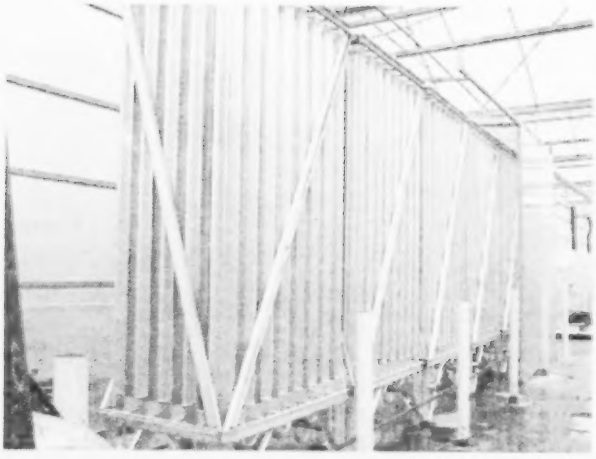
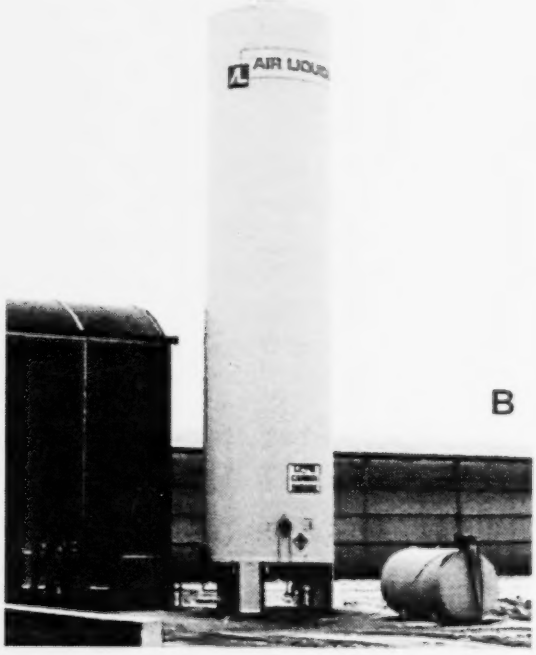


PLANCHE 7. Vaporisateur de CO_2 liquide.



PLANCHES 6a et 6b. Réservoirs de CO_2 liquide.

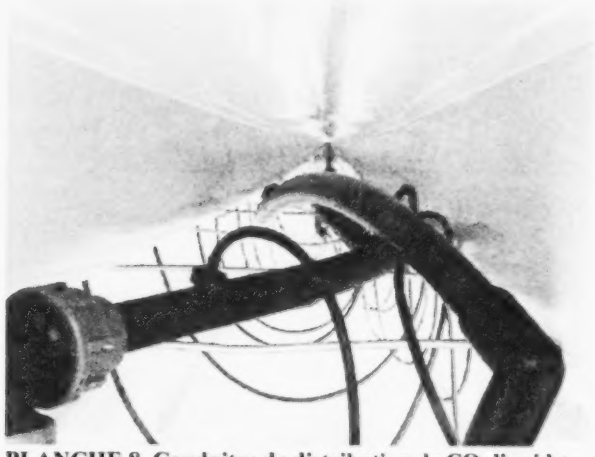


PLANCHE 8. Conduites de distribution de CO_2 liquide.

CONCENTRATIONS RECOMMANDÉES POUR L'ENRICHISSEMENT EN CO_2

De nos jours, la plupart des serristes contrôlent et règlent l'environnement de leurs serres à l'aide de détecteurs reliés à un ordinateur central permettant l'intégration des divers paramètres environnementaux. On utilise un régulateur de gaz carbonique (généralement un analyseur des gaz à infrarouge) pour contrôler et maintenir les concentrations minimales et maximales de CO_2 dans la serre. Habituellement, il n'y a qu'un seul analyseur à infrarouge par exploitation. On peut prendre de nombreuses mesures des concentrations de gaz carbonique de parcelles indépendantes ou de diverses sections de la serre à l'aide d'un scanner ou d'un multiplexeur. L'analyseur à infrarouge peut être autonome ou, le plus souvent, relié à l'ordinateur contrôlant l'environnement. Dans ce dernier cas, l'ordinateur est utilisé pour régler les concentrations de CO_2, en intégrant les niveaux d'intensité lumineuse, le degré de ventilation et la vitesse du vent. Les analyseurs de gaz à infrarouge doivent être calibrés régulièrement afin d'assurer l'exactitude des mesures des concentrations de CO_2.

La réaction des plantes et les considérations économiques déterminent à quel point on peut enrichir la serre en gaz carbonique. Les producteurs de fleurs et de légumes n'interviennent pas nécessairement de la même manière. De façon générale, on recommande un apport de 1 000 ppm durant la journée quand les conduits d'aération sont fermés. Lorsque ces derniers sont ouverts à 10 %, on peut interrompre l'enrichissement en CO_2 ou le réduire à 400-600 ppm. Par ailleurs, les concentrations de CO_2 peuvent être établies en fonction de l'intensité lumineuse afin d'améliorer l'efficience économique. Pour la culture de légumes, on recommande un enrichissement de 1 000 ppm, par temps ensoleillé lorsque les conduits d'aération sont fermés. Par

temps couvert, lorsque l'intensité lumineuse est inférieure à 40 watts/m^2, on recommande de se limiter à un apport de 400 ppm. Toutefois, la plupart des producteurs de fleurs apportent un supplément de 1 000 ppm quelle que soit l'intensité de la lumière. L'ordinateur qui règle l'environnement de la serre peut être programmé pour que la concentration de CO_2 s'ajuste en fonction de la mesure de l'intensité lumineuse. Cependant, lorsque l'ouverture des conduits d'aération est supérieure à 10 % ou que les ventilateurs d'évacuation fonctionnent au deuxième niveau, on cherche plutôt à maintenir la concentration de CO_2 à 400 ppm à l'intérieur du couvert végétal.

À titre d'indication, on trouvera ci-dessous un calcul hypothétique pour une serre vitrée de 100 m^2 de surface avec une culture en croissance et pour une journée d'intensité lumineuse moyenne. Dans ce calcul, un enrichissement de 1 000 ppm sera apporté pour maintenir la concentration de CO_2 dans la serre à 1 300 ppm pendant la journée. La nuit, il n'est généralement pas nécessaire d'enrichir la serre en CO_2, parce qu'il n'y a pas de photosynthèse. En fait, le CO_2 a tendance à s'accumuler naturellement à cause de la respiration des plantes. Voilà pourquoi, il n'est pas rare le matin d'obtenir des niveaux élevés, soit de l'ordre de 500 à 600 ppm de CO_2. Les producteurs qui utilisent de l'éclairage au sodium à haute pression devraient maintenir des concentrations de gaz carbonique d'au moins 400 ppm dans la serre.

Une serre classique à chéneaux de 2,4 m de hauteur contient un volume d'air d'environ 400 m^3 par 100 m^2 de surface au sol. Pour porter les concentrations de CO_2 de 300 à 1 300 ppm, il faudra apporter un supplément de 1 000 ppm (0,1 %) de CO_2, soit 0,40 m^3 ou 0,75 kg de CO_2 par 100 m^2 de surface au sol. Cette quantité devrait être apportée avant le lever du soleil car l'activité photosynthétique est généralement plus élevée tôt le matin. Une fois le niveau de 1 300 ppm atteint, il reste à le maintenir.

Le niveau de gaz carbonique dans une serre est abaissé par les échanges gazeux naturels et par la photosynthèse.

a) Échange gazeux naturel

Comme la serre n'est pas étanche, l'air extérieur (qui ne contient que 340 ppm de CO_2) s'infiltre continuellement. L'air introduit par infiltration dans la serre correspond *grosso modo* à un renouvellement complet de l'air par heure. Pour compenser cette dilution et pour maintenir la concentration voulue de 1 300 ppm de CO_2, il faut ajouter environ 0,37 kg de CO_2 par 100 m^2 de surface au sol.

À noter que cette quantité doit être corrigée en fonction de la hauteur sous les chéneaux et de la largeur de la serre. Les serres à large portée contiennent plus d'air que les serres à portée étroite pour une même hauteur sous les chéneaux. Dans le cas des serres à parois doubles (polyéthylène ou acrylique), on prévoit un renouvellement de ¼ à ⅓ du volume d'air par heure. En régime de ventilation forcée, on maintient une concentration de CO_2 généralement inférieure, si les ventilateurs fonctionnent, et on aura besoin d'un taux d'enrichissement différent.

b) Photosynthèse

Le gaz carbonique est absorbé par les plantes durant la photosynthèse. Le taux de consommation varie selon la culture, l'intensité lumineuse, la température, le stade de croissance et le niveau nutritionnel des plantes. La consommation moyenne se situe entre 0,12 et 0,24 kg par heure et par 100 m^2. Les concentrations plus élevées s'observent au cours des journées ensoleillées dans le cas des cultures arrivées à maturité.

Si on combine ces deux facteurs, on estime que pour maintenir la concentration à 1 300 ppm, il faut ajouter environ 0,50 à 0,60 kg de CO_2 par heure et par 100 m^2 de surface dans une serre vitrée standard. Pour les serres plastiques à double revêtement de polyéthylène, l'apport supplémentaire serait de 0,25 à 0,35 kg par heure et par 100 m^2. Dans les serres vitrées, l'enrichissement sert surtout à compenser la dilution causée par les infiltrations d'air, tandis que dans les serres à double revêtement de polyéthylène la quantité de CO_2 requise correspond plus ou moins aux pertes dues aux échanges gazeux naturels et à la photosynthèse. Si on veut maintenir des concentrations de CO_2 inférieures, on doit modifier l'enrichissement en conséquence.

Le tableau 1 intitulé *Utilisation annuelle potentielle de CO_2 sur une base mensuelle* indique la quantité théorique de CO_2 utilisée pour une production de légume à trois différents niveaux d'enrichissement, en fonction du nombre d'heures d'ensoleillement.

TABLEAU 1. Utilisation annuelle potentielle de CO_2 sur une base mensuelle (en fonction du nombre d'heures d'ensoleillement à Harrow, Ontario)

	N^{bre} d'heures d'enrichissement	Quantité apportée (kg/ha/h)		
Mois		**45**	**65**	**90**
Janv.	82	3 690	5 330	7 380
Févr.	100	4 500	6 500	9 000
Mars	127	5 715	8 255	11 430
Avril	168	7 560	10 920	15 120
Mai	234	10 530	15 210	21 060
Juin	253	11 385	16 445	22 770
Juill.	283	12 735	18 395	25 470
Août	252	11 340	16 380	22 680
Sept.	187	8 415	12 155	16 830
Oct.	157	7 065	10 205	14 130
Nov.	89	4 005	5 785	8 010
Déc.	67,1	3 019,5	4 361,5	6 039
	Total (kg)	**89 959,5**	**129 941,5**	**179 919**

CAPACITÉ DU BRÛLEUR

Pour le calcul de la capacité des brûleurs, seuls sont considérés le gaz naturel et le propane, les deux carburants les plus fréquemment utilisés en serriculture. Les serriculteurs qui ne possèdent pas d'analyseur de gaz ou d'ordinateur pour contrôler l'environnement de la serre doivent bien évaluer la capacité de leurs brûleurs. Cet aspect est particulièrement

important pour les producteurs de plantes à massif dans les serres tunnels autoportantes. Le tableau 2, intitulé *Capacité du brûleur à maintenir une concentration de CO_2 de 1 300 ppm sous certaines conditions*, énumère les différentes capacités des brûleurs en fonction des taux d'enrichissement mentionnés plus haut.

Aux niveaux recommandés (*tableau 2*), on calcule que l'humidité relative s'élève d'environ 3 à 6 % avec le gaz naturel, si la température de la serre n'augmente pas en raison de la chaleur générée par les brûleurs. Un accroissement de température de 1 °C, ce qui est souvent le cas, n'est pas suffisant pour modifier le taux d'humidité relative.

QUAND FAUT-IL ENRICHIR LA SERRE EN CO_2?

Comme la photosynthèse ne se produit que le jour, aucun apport complémentaire de CO_2 n'est nécessaire la nuit. Il en faudra cependant par temps couvert pour compenser la baisse du taux de photosynthèse. Puisque l'activité photosynthétique augmente avec l'intensité lumineuse, la concentration optimale de CO_2 est alors supérieure. L'enrichissement devrait débuter environ une heure avant le lever du soleil pour s'arrêter une heure avant son coucher. L'apport supplémentaire de CO_2 est toutefois recommandé lorsqu'on utilise des lampes à haute pression au sodium la nuit.

Bien que la concentration optimale de CO_2 augmente avec l'intensité lumineuse, il est souvent inutile, dépendant de la vitesse du vent, de tenter de maintenir un enrichissement de 1 000 ppm lorsque les conduits d'aération sont ouverts de plus de 10 à 15 % ou lorsque les ventilateurs d'évacuation fonctionnent au maximum. Les serriculteurs devraient cependant tenter de maintenir les concentrations de l'air ambiant dans le couvert végétal. Une plus grande circulation d'air améliore le taux de diffusion en réduisant la couche tampon autour de la feuille.

COÛTS DE L'ENRICHISSEMENT EN CO_2

Il y a deux points à considérer dans le calcul des coûts de l'enrichissement en CO_2 de l'atmosphère de la serre. D'abord, le coût des systèmes de production et de distribution et ensuite le coût du carburant lui-même. On trouve au tableau 3, intitulé *Comparaison des coûts de différentes sources de CO_2 (kg/ha)*, ce qu'il en coûte pour enrichir la serre en CO_2 à partir de diverses sources, pour une journée de 12 heures. La plupart des grandes exploitations, surtout celles où l'on utilise du gaz carbonique de combustion, peuvent consommer par jour le double des quantités indiquées. On doit également ajouter les coûts du matériel à l'équation (tableau 4, *Coût du matériel pour une exploitation de quatre hectares (10 acres)*.

RÉPARTITION DU GAZ CARBONIQUE DANS LA SERRE

Il est important que la serre soit dotée d'un système de distribution approprié. La répartition du gaz carbonique dans la serre dépend principalement de la circulation de l'air, étant donné que le CO_2 ne se déplace pas très loin par simple diffusion. Par exemple, si on se sert d'une seule source de CO_2 pour une serre de grande surface ou pour des serres communicantes, on doit installer un système de distribution. Ce dernier doit être conçu de manière à assurer une répartition homogène du CO_2 dans la serre, surtout lorsqu'on utilise le CO_2 des gaz de combustion ou le CO_2 sous forme liquide. Un système de circulation d'air doté de ventilateurs horizontaux ou de jets en éventail qui déplacent un fort volume d'air assurera la répartition homogène du CO_2 dans la serre lorsque les sorties d'air de la toiture sont fermées ou que les ventilateurs d'évacuation ne sont pas en marche. De nos jours, les serristes qui enrichissent l'atmosphère des serres avec du gaz carbonique liquide ou du CO_2 provenant de gaz de combustion utilisent un tuyau central muni de petits tubes individuels (perforés à intervalle régulier) placé dans la partie inférieure du couvert végétal ou sous les banquettes, selon le cas. Dans le cas d'un couvert végétal dense (pour des chrysanthèmes par exemple), il peut valoir la peine de diriger le CO_2 directement à l'intérieur du couvert. La circulation de l'air autour des plantes aura également pour effet d'améliorer l'absorption du CO_2 par les plantes en amenant les molécules du gaz carbonique plus près des feuilles.

DOMMAGES CAUSÉS AUX PLANTES PAR L'ENRICHISSEMENT EN CO_2

Il faut éviter l'accumulation excessive de CO_2 dans la serre. La concentration de 5 000 ppm peut provoquer des étourdissements ou un manque de coordination chez les humains. Des niveaux plus élevés que les concentrations recommandées peuvent être également responsables de nécroses sur les vieilles feuilles de tomate et de concombre. Les feuilles de violette africaine deviennent très dures et cassantes, montrent une coloration gris-vert très foncée et produisent souvent des fleurs difformes, qui n'atteignent pas la maturité. Un symptôme semblable a été observé chez les fleurs de freesia dans les serres où le chauffage était fourni en grande partie par le brûleur de CO_2. À part les situations d'urgence, le brûleur de CO_2 ne doit pas être utilisé comme source principale de chauffage.

Comme une concentration de 0,2 ppm d'anhydride sulfureux (SO_2) dans l'atmosphère peut causer des nécroses graves aux végétaux, la teneur en soufre des carburants doit être inférieure à 0,02 %. Par conséquent, les huiles de chauffage comme l'huile n° 2 et le mazout brut ne doivent pas être utilisées pour l'enrichissement en CO_2 de l'atmosphère des serres.

TABLEAU 2. Capacité du brûleur* à maintenir une concentration de CO_2 sous certaines conditions

	GAZ NATUREL		PROPANE	
	kW/1 000 m²	**m³/1 000 m²/h**	**kW/1 000 m²**	**litre /1 000 m²/h**
Serre de verre	30–36	2,8–3,4	20–24	2,8–3,4
Serre de plastique	15–18	1,4–1,7	10–12	1,4–1,7

* kW (kilowatt = 3 420 BTU/h
On a fait les calculs en assumant que le brûleur fonctionne continuellement.

TABLEAU 3. Comparaison des coûts de différentes sources de CO_2 (kg/ha)*

	N^bre d'heures	Taux de CO_2 kg/ha/h	Quantité de produit requise	Coût ($/unité)	Coût du CO_2 ($/h)	Coût total/($/j)
CO_2 liquide	12	50	50,0 kg	0,11 kg	5,50	66,00
CO_2 liquide	12	50	50,0 kg	0,15 kg	7,50	90,00
CO_2 liquide	12	50	50,0 kg	0,2 kg	10,00	120,00
Gaz naturel	12	50	27,8 m³	0,1 m³	2,78	33,33
Gaz naturel	12	50	27,8 m³	0,15 m³	4,17	50,00
Gaz naturel	12	50	27,8 m³	0,3 m³	8,33	100,00
Propane	12	50	27,8 L	0,2 L	5,56	66,67
Propane	12	50	27,8 L	0,25 L	6,94	83,33
Propane	12	50	27,8 L	0,3 L	8,33	100,00

* N'inclut pas le coût du matériel

TABLEAU 4 : Coût du matériel pour une exploitation de quatre hectares (10 acres)

Gaz carbonique liquide			
Location du réservoir			6 000 $
Distribution de CO_2			
1 000 pieds	90	50	4 500 $
		Total	**10 500 $***
	*il s'agit du coût annuel		
CO_2 provenant des gaz de combustion			
Condenseur			30 000 $
Soufflerie			20 000 $
Distribution			15 000 $
Tuyau de plastique de 65 mm			
1 000 pieds	150	100	15 000 $
		Total	**80 000 $**
Brûleur produisant le CO_2			
N^bre d'appareils requis			
20	2 500		50 000 $
		Total	**50 000 $**

L'éthylène, à la concentration de 0,05 ppm, et le propylène à des concentrations plus élevées peuvent causer la sénescence prématurée des plants de tomate et de concombre, provoquer la « somnolence » chez l'œillet et la chute des pétales chez le géranium. Chez le chrysanthème et le poinsettia, ces gaz peuvent entraîner la croissance excessive de gourmands, compromettre l'initiation florale et causer la chute prématurée du bouton floral. L'éthylène est souvent le produit d'une combustion incomplète, alors que le propylène est habituellement associé à l'usage du propane. Les fuites de propane dans les tuyaux d'alimentation ont, dans le passé, infligé de graves dommages financiers aux producteurs. Le monoxyde de carbone (CO), qui en soi ne cause ordinairement pas de problèmes, est souvent utilisé comme indicateur de combustion incomplète. Des niveaux supérieurs à 50 ppm de CO dans les gaz de combustion révèlent généralement la présence d'éthylène à des concentrations susceptibles d'endommager les plantes.

Les brûleurs dont la température de la flamme est très élevée peuvent occasionner la formation d'oxydes d'azote (NO_X et NO_2). Des concentrations excessives de ces gaz risquent de causer une baisse du taux de croissance ou même des nécroses. Lorsqu'on utilise les gaz de combustion comme source de gaz carbonique, on doit se doter de chaudières dont les brûleurs dégagent peu de NO_x.

La présence simultanée de SO_2 et de NOx, même à de faibles concentrations, peut être plus toxique ou causer davantage de dommages aux plantes que la présence d'un

seul des deux gaz à concentration élevée. L'utilisation excessive et prolongée de CO_2 (surtout dans le cas des tomates) peut faire en sorte que les plants réagissent mal à l'enrichissement en CO_2. La réaction s'améliore lorsqu'on interrompt l'apport de CO_2 pendant quelques jours.

PRATIQUES CULTURALES POUR AMÉLIORER LA PRODUCTIVITÉ

Si l'on souhaite que l'apport de CO_2 entraîne une augmentation du taux de croissance, il se peut, pour certaines cultures, que la conductivité électrique de la solution nutritive doive être plus élevée. Par ailleurs, des concentrations supérieures de CO_2 peuvent causer la fermeture partielle des stomates, ce qui réduit la transpiration de la plante et augmente la conductivité de la feuille pour certaines cultures. Cette diminution de la transpiration réduit l'absorption de calcium (Ca) et de bore (B), ce qui peut affecter la qualité de la tomate. Un apport modéré de ces éléments nutritifs pourra cependant compenser la baisse d'absorption.

REMARQUES :

- 1 kg de CO_2 équivaut à 570 litres de CO_2
- La combustion de 1 m^3 de gaz naturel fournit environ (1,8 kg) 1 000 litres de CO_2 et 1,4 litre d'eau
- 1 m^3 de gaz naturel produit autant de CO_2 que 0,75 L de kérosène et 1 L de propane.

Nous remercions le Secrétariat d'État pour sa contribution financière à la réalisation de la présente fiche technique.

Cette fiche a été rédigée, à l'origine, par **T.J Blom**, **W.A. Straver** et **F.J. Ingratta.** Elle a été mise à jour par **Shalin Khosla**, spécialiste en légumes de serre, Harrow, MAAO, et **Wayne Brown**, spécialiste en floriculture de serre, Vineland, MAAO.

Centre d'information agricole
1 877 424-1300
ag.info@omafra.gov.on.ca

www.gov.on.ca/omafra

NOTES PERSONNELLES

NOTES PERSONNELLES

POD
ISSN 1198-7138
Also available in English
(Order No. 00-077)